

Artificial Life

<http://raic.kunsan.ac.kr>

로보틱스 및 인공지능제어 연구실
Robotics & Artificial Intelligent Control Laboratory

2002 / Designed by RAIC LAB. All rights reserved.

What is Artificial Life?

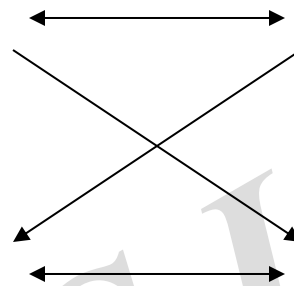
생물학적 현상의 이해와 이를 통한 생명의 특성을 보이는 인공시스템에 관한 연구

이미 알고 있는 생명
(life as we know it)

↓
생물학적 현상의 이해

있을 수 있는 생명
(life as it could be)

↓
인공시스템 (Software,
hardware, wetware) 구현



인공생명의 접근방식

합성(Synthesis)적 접근법

↓
창발행동(Emergent behavior) : 저수준의 단순한 규칙들의 적용으로
고수준의 복잡한 행동이 자발적으로 나타나는 현상

ex) 환경에 대한 개미들의 단순한 행동들 → 페로몬 흔적을 따라가는
복잡한 행동이 나타남

생명의 특징 : 자기재생산 , 적응, 학습, 자율성, 진화, 자기유지 등

- 정보(Information) : 생명은 형태와 기능을 지배하며, 복제되고 전달되는 정보이다.
- 과정(Process) : 생명의 본질은 과정이지 물리적구조가 아니다.

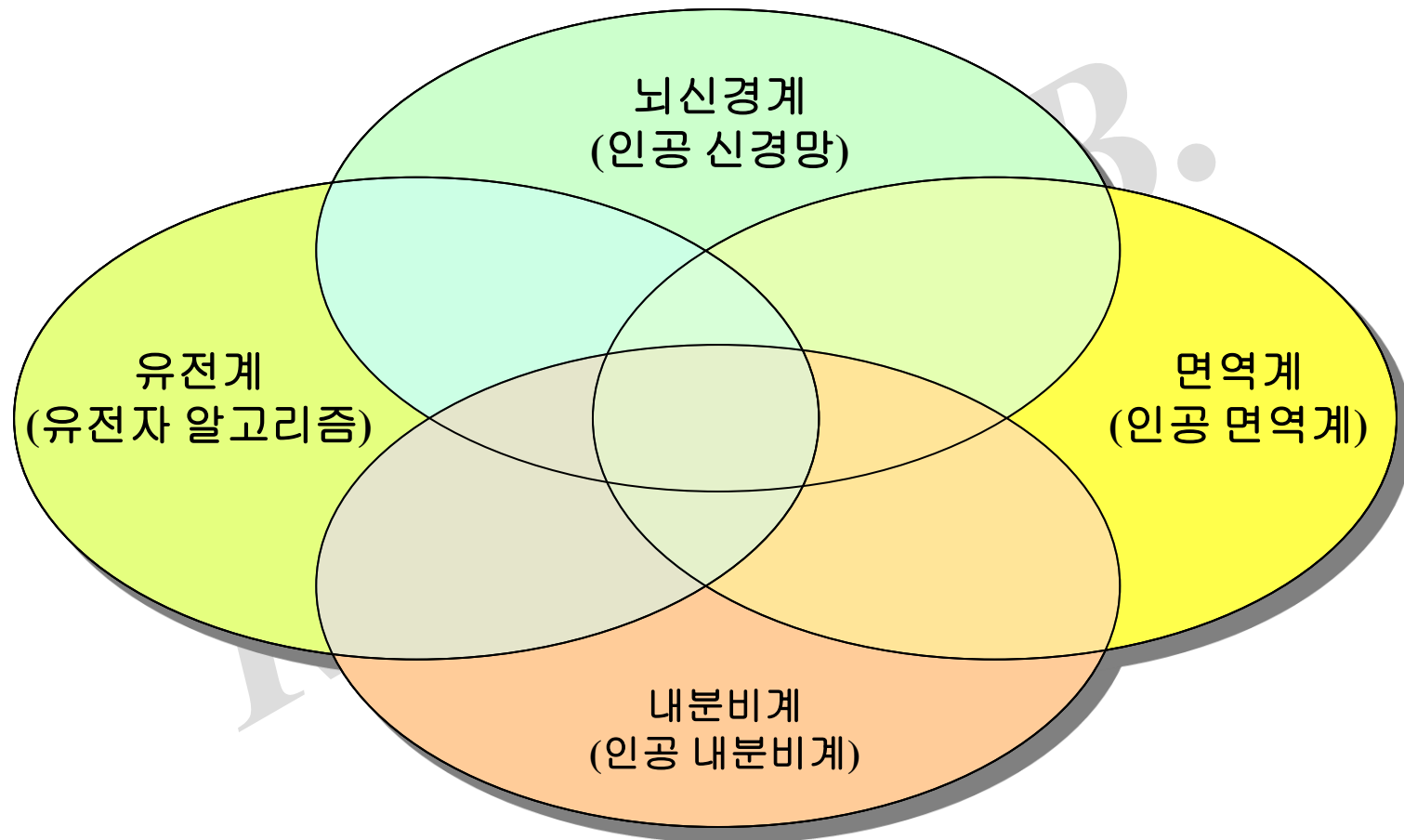
인공생명에서는 생명체의 형태 자체보다는 **정보**로서의 기능과 **과정**을 연구의 대상으로 삼는다.

ex) 사람팔을 모방한 로봇 팔(x) 발생과정을 통해 생성한 로봇 팔(o)

인공생명의 방법들

- 적응행동 모델: Classifier System, Neural Network, Immune System
- 진화연산 모델: 유전자 알고리즘(GA), 진화전략(ES), 진화 프로그래밍(EP), 유전자 프로그래밍(GP), 공진화
- 발생·발달 모델: Lindenmayer System(L-System), Cellular Automata(CA)

생체 시스템 모델



자기 재생산(Self Reproduction)

폰 노이만이 생명의 자기복제의 논리를 밝힌 것인 인공생명의 결정적 탄생 배경

폰 노이만의 자기 재생산 오토마톤

노이만이 상상한 최초의 자기 재생산 오토마톤은 29가지 상태를 갖는 20만 여개의 Cell 들로 이루어진 일종의 거대한 컴퓨터

크게 3개의 구성요소로 이루어 짐

Factory : 환경으로부터 물질을 수집하여 명령에 따라 조립하고 그 결과물을 다른 구성 요소로 공급

- **Duplicator** : 정보로 이루어진 명령을 읽고 그 명령을 복제
- **Computer** : 제어 장치

자손을 생산하기 위하여 재료들을 모으고 결합하여 자손인 복제자와 컴퓨터를 만들고 재생산 명령이 담긴 테이프를 자손에게 전달함으로써 새로운 '번식력'을 갖게 함 ⇒ 후에 DNA의 번역과 전사의 개념과 동일한 것으로 밝혀짐

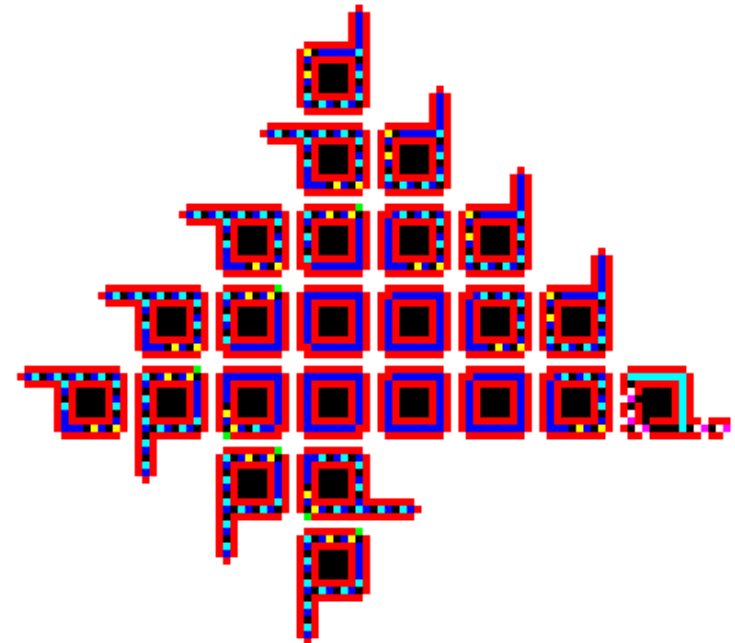
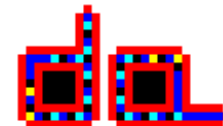
Cont. (Self-Replication Loop)

아담 루프(Adam's Loop)

크리스 랭턴의 자기 재생산 루프는 93개의 Cell들이 8가지의 상태 중 하나를 가지며 자기 복제된 자식 루프를 생성

- 다음 세대의 셀들의 행동을 지시하는 규칙에 따라 팔을 생성
- 팔을 충분히 성장시켜 자식 루프를 생성
- 자식 루프의 외형이 부모와 닮게 되면 복제 정보를 전달
- 두 루프의 분리와 새로운 재생산 메커니즘 가동

```
2 2 2 2 2 2 2 2
2 1 7 0 1 4 0 1 4 2
2 0 2 2 2 2 2 2 0 2
2 7 2      2 1 2
2 1 2      2 1 2
2 0 2      2 1 2
2 7 2      2 1 2
2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2
2 0 7 1 0 7 1 0 7 1 1 1 1 1 2
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
```



적응(Adaptation)

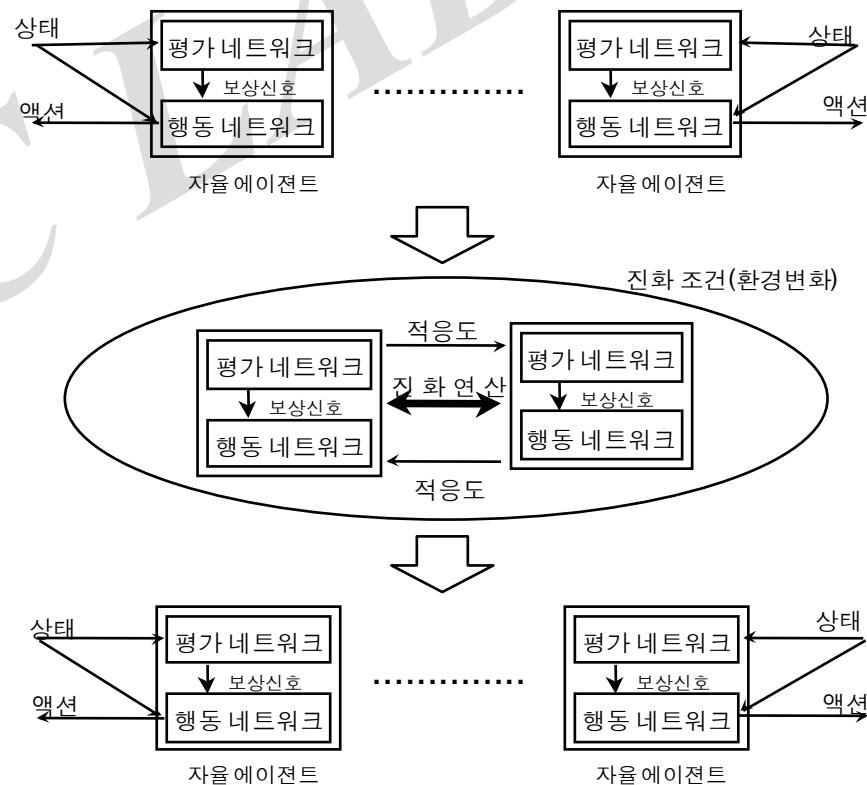
생물이 제대로 살아남아서 기능을 다하기까지는 두 가지의 중요한 적응과정이 필요

진화와 학습

진화 : 개체군 수준에서의 적응
돌연변이와 교배, 선택 등의
과정을 통한 적자 생존

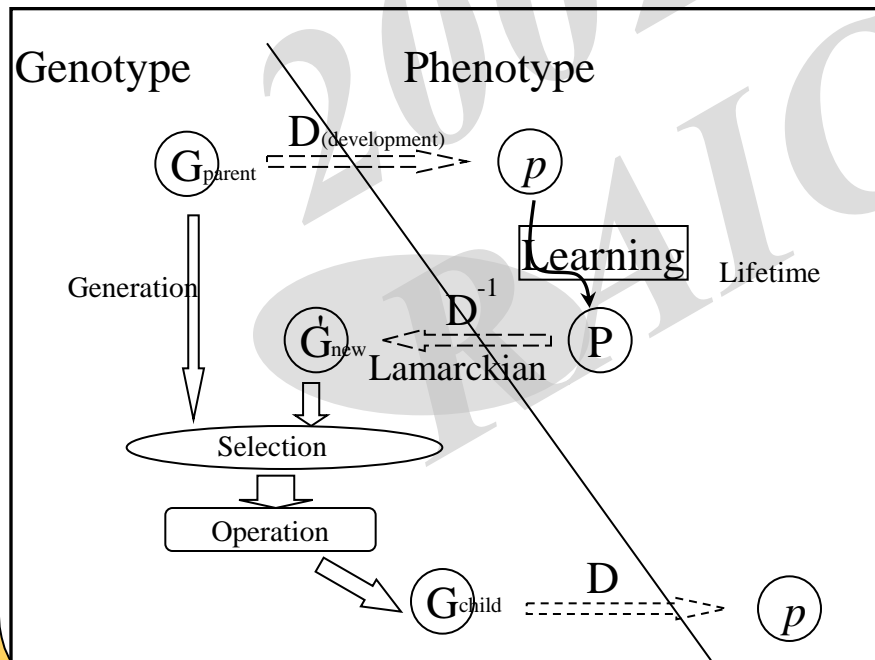
학습 : 한 개체 수준에서의 적응
환경과의 상호작용을 통한
행동의 변화

Ex) 자율이동로봇이 학습을 수행하고
환경에서 다른 로봇과 만나면 유전자
교환 on line 학습 및 진화

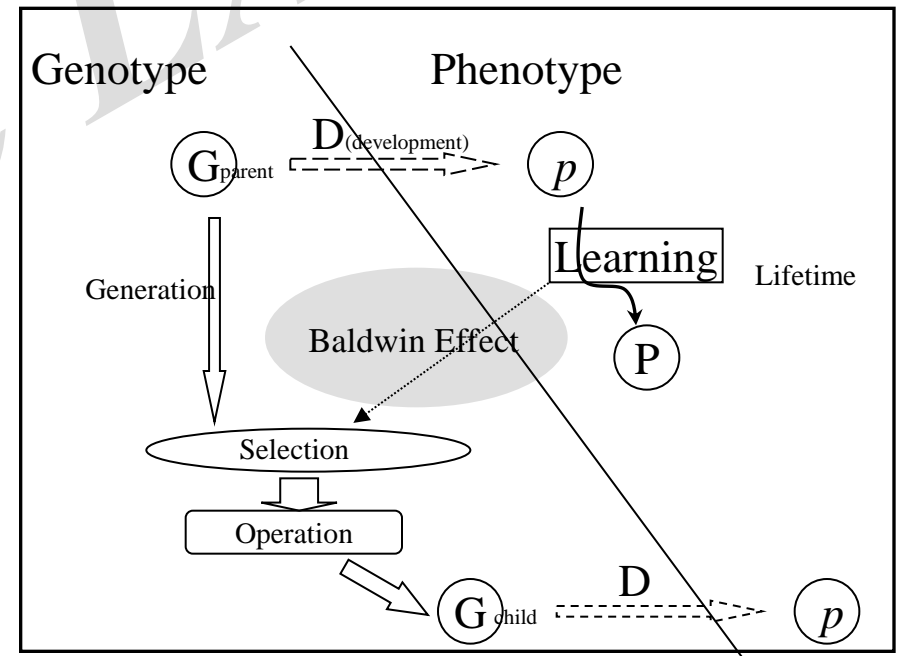


Cont.

라마르크 진화(lamarckian evolution) : 표현형에서 유전형으로의 함수 관계가 존재한다는 가정하에 표현형에서 학습된 내용이 직접 유전자 코드의 변화를 가져오는 것으로 학습결과를 물려줌



볼드윈 효과(baldwin effect) : 학습 결과는 선택(적합도)에 영향을 주고 유전자로 물려주지 않음



진화연산(Evolutionary Computation)

진화 연산의 비교

	Data Structure			기 원	주 적용분야
유전자 알고리즘(GA)	{0,1}	스트링	길이 고정	Holland, J.H.(1975)	문자열, 벡터열 탐색
진화전략(ES)	실수	벡터	길이 고정	Rechenberg, I.(1963)	실수치 탐색
진화 프로그래밍(EP)	이산치	그래프	크기 고정	Fogel, L.J.(1966)	오토마톤 합성
유전자 프로그래밍(GP)	기본함수	트리	가변	Koza, J. (1990)	프로그램 생성

- 유전자 알고리즘(GA) => Adaptive System(Learning Ability), Optimization Algorithm

procedure SGA()

 initialize(Population);

 evaluate(Population);

 while not (terminal condition satisfied) do

 MatingPool = reproduce(Population);

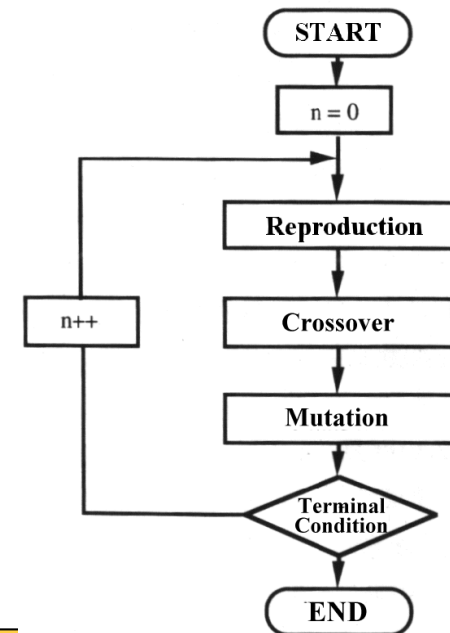
 MutationPool = crossover(MatingPool);

 Population = mutation(MutationPool);

 evaluate(Population);

 end while

end procedure



Cont. (Co-Evolution)

Competitive co-evolution

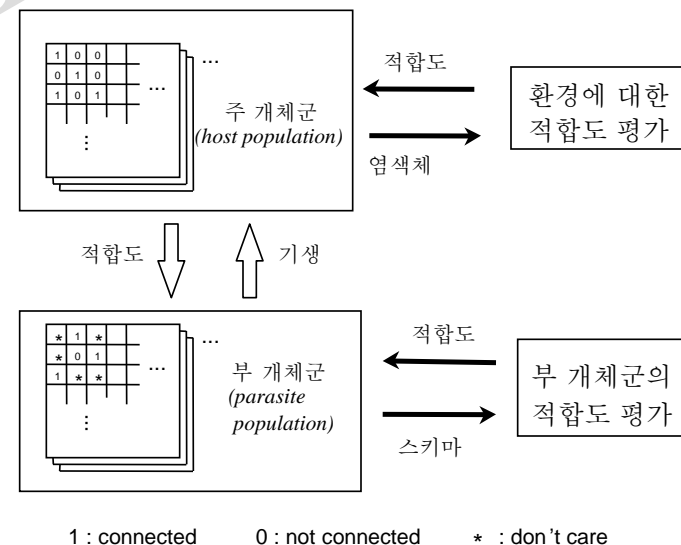
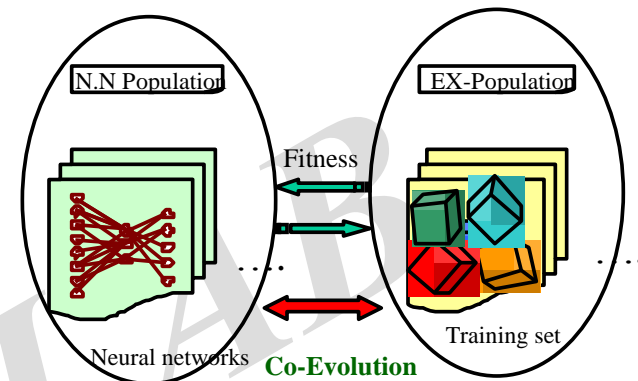
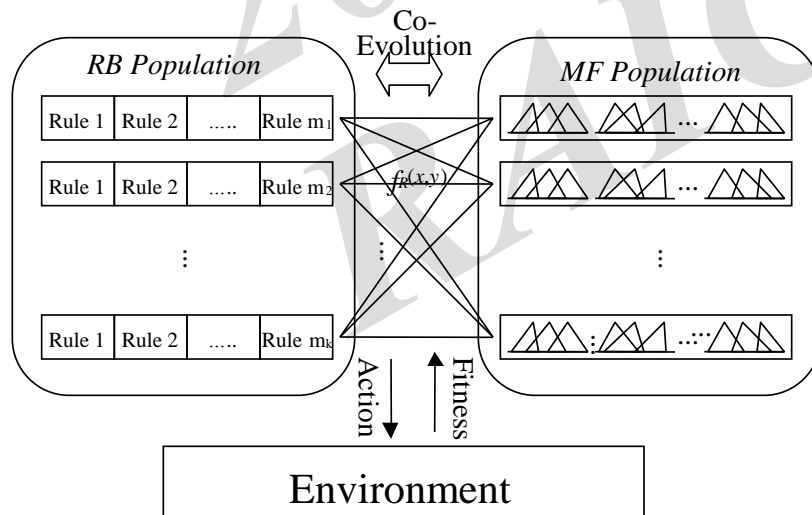
- neural nets vs training pattern

Cooperative co-evolution

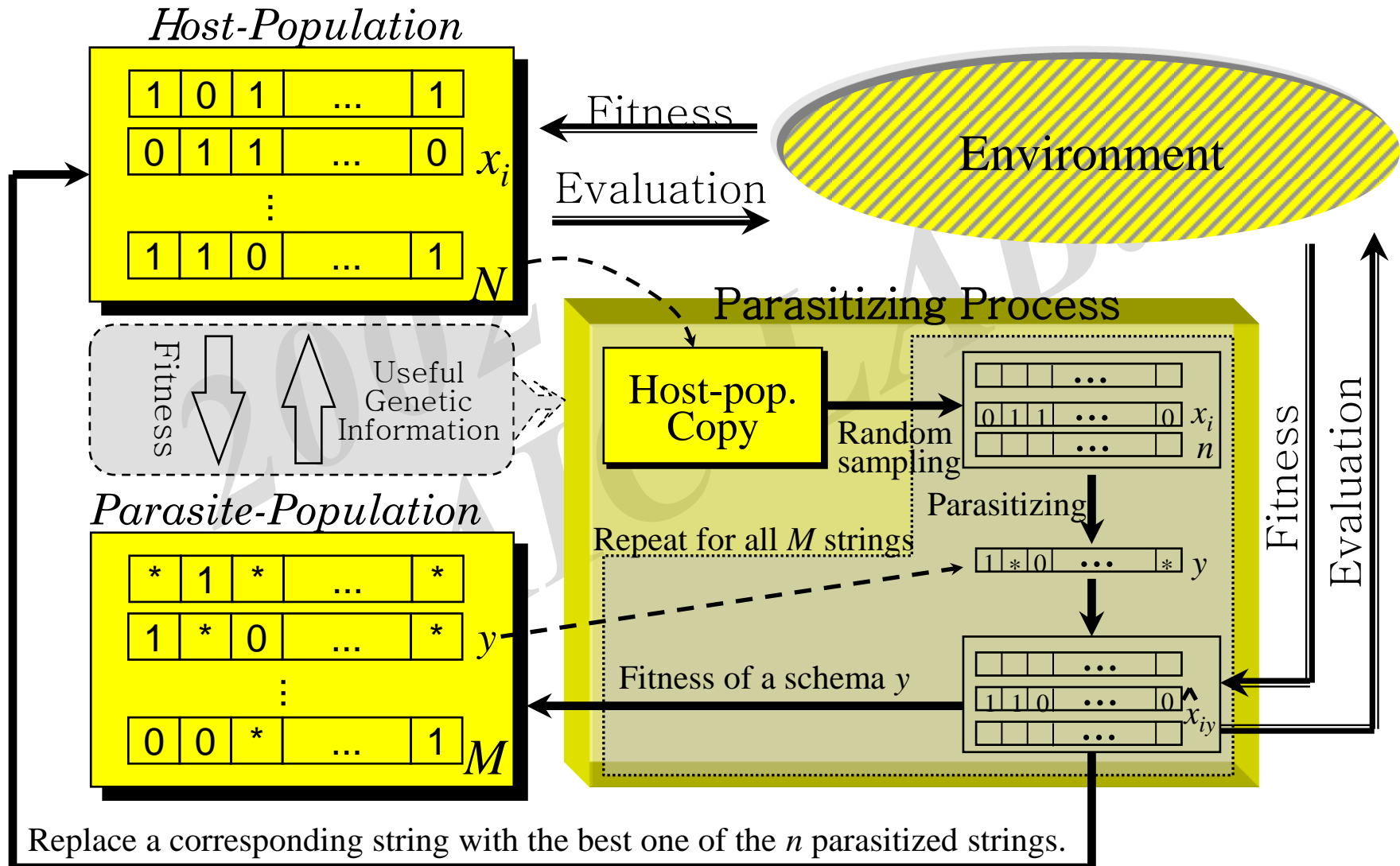
- rule base & membership function

Host-Parasite co-evolution

- bit string & schema



Cont. (Schema Co-Evolution)



학습(learning)

강화학습(Reinforcement Learning)

경험 강화형 강화학습 : 학습하는 과정에서도 효율을 얻겠다는 전략

Bucket brigade of classifier system

환경 동정형 강화학습 : 환경에 최적의 전략을 얻겠다는 전략

Q-learning, TD-method

환경분류	Non-markovian	Multi agent perceptual aliasing	
	Markovian	k-확실탐사 Q-learning TD method	Profit sharing Bucket brigade Checker Player

환경동정(Exploration oriented) 경험강화(Exploitation oriented)

접근지향성

발생·발달 모델(Ontogenetic Models)

Lindenmayer System

- L-시스템 : 일종의 문자열 재적용 알고리즘(string rewriting mechanism)

L-시스템에서 사용되는 용어들은 다음과 같이 정의된다.

- 문자(Alphabet) Σ : 심볼 또는 문자들의 유한집합

ex) $\Sigma = \{a, b, c\}$

- 문자열의 집합 Σ^* : 집합 Σ 에서 정의된 심볼들의 연속된 문자열 집합

ex) $\Sigma^* = \{a, b, c, ab, bc, ca, acb, aaabca, \dots\}$

- 초기문자열(Axiom) α : 집합 Σ^* 의 ϕ 가 아닌 임의의 한 원소이며, L-시스템은 이 초기 문자열부터 생성규칙에 의해 성장한다.

ex) $\alpha = a$

Cont. (L-System)

- 생성규칙(Production Rule) Π : 하나의 심볼 a ($a \in \Sigma$)에 대한 문자열 w ($w \in \Sigma^*$)의 대응
ex) $a \rightarrow ab$
 $b \rightarrow a$

언어(Language)로서 L-시스템의 문법 G 는 다음과 같이 표현한다.

$$G = \{ \Sigma, \Pi, \alpha \}$$

단, Σ 은 문자의 집합, Π 는 생성규칙의 집합($\Pi = \{ \pi \mid \pi: \Sigma \rightarrow \Sigma^* \}$), α 는 초기문자열이다.

Example : $G = \{ \Sigma, \Pi, \alpha \}$

$$\Sigma = \{A, B, C\}$$

$$\Pi = \{A \rightarrow BA, B \rightarrow CB, C \rightarrow AC\}$$

$$\alpha = ABC$$

이면 최종적으로 생성되는 언어는

$$L = \{ ABC, BACBAC, CBBAACCBBAAC, \dots \}$$

Cont. (L-System의 종류)

- - 문맥자유 L-시스템(context free L-system) : 0L-system
 - 문맥의존 L-시스템(context sensitivity L-system)
 - : 1L-system, 2L-system
- Bracketed L-시스템(Bracket L-system)
 - '[' ']' 기호를 이용하여 모듈구조나 나무의 가지를 표현하기 위해 고안된 L-시스템
- 파라미터 L-시스템(Parametric L-system)
 - 기본적인 L-시스템을 확장하여 파라미터의 조건(condition of parameter)을 포함한 전건
부 문맥이 일치하였을 때 생성규칙이 적용되는 L-시스템
 - 기본 형 : Predecessor with parameter : Condition of parameter → Successor with parameter
- 지도형 L-시스템(Map L-system)
 - 어떤 영역을 둘러싸고 있는 경계에 대한 생성 규칙을 이용해 지도를 형성해 나가는 L-시스템, 지도 형성 및 영역분할(세포 분할) 모델링에 사용됨

Cont. (L-System의 예)

Bracketed L-시스템의 예

$$\Sigma = \{F, +, -, [,]\}$$

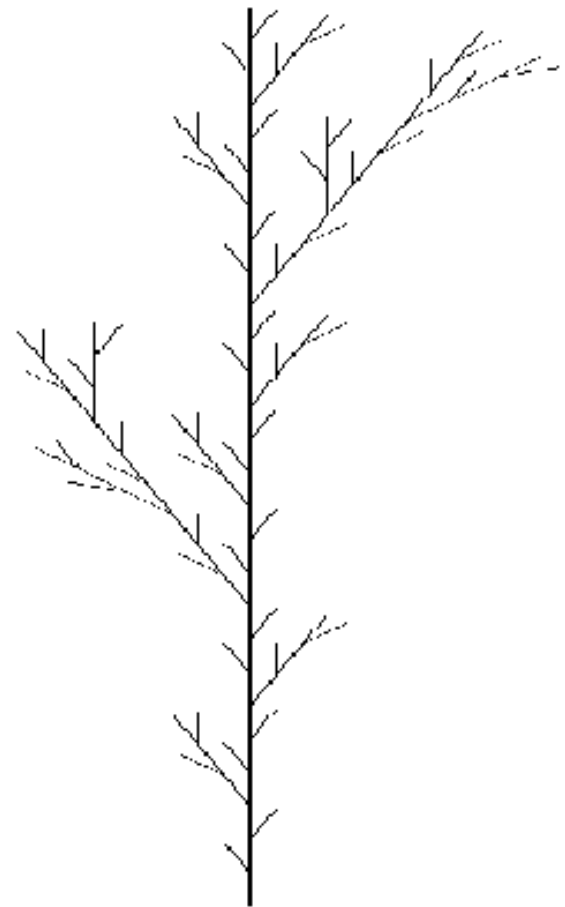
$$\alpha = F$$

$$\Pi = \{ F \rightarrow F[+F]F[-F]F \}$$

F : draw a line in the current direction

$+$: rotate δ to the left

$-$: rotate of δ to the right



3 level growth

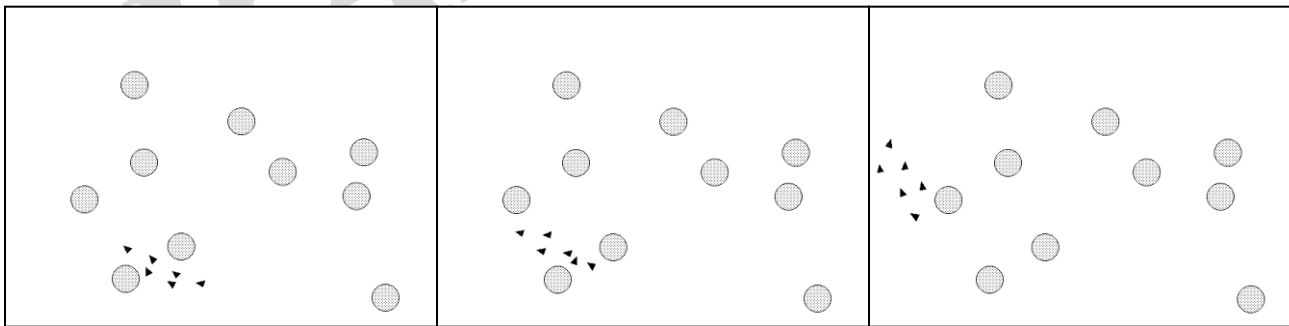
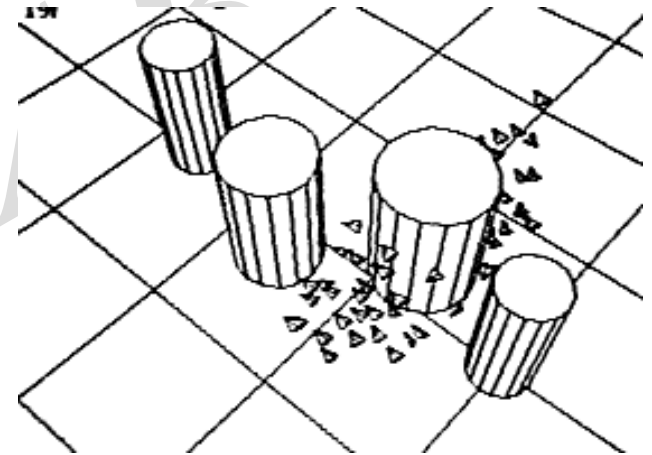
Emergence

창발 : 부분간의 국소적인 상호작용의 결과로 전체가 나타나고, 그 전체가 부분의 환경이 되어 그것에 의해서 지배되는 새로운 질서가 형성되는 현상

크레이그 레이놀즈가 만든 컴퓨터 새 '보이드(boid)'는 놀라운 창발성으로 무리짓기 행동을 보여주었음.

행동규칙

1. 무리의 무게 중심을 향해 움직임
2. 다른 보이드와 충돌하지 않도록 너무 가까이 가지 않도록 움직임
3. 무리의 평균속도에 맞추어 날 수 있도록 속도를 조절함

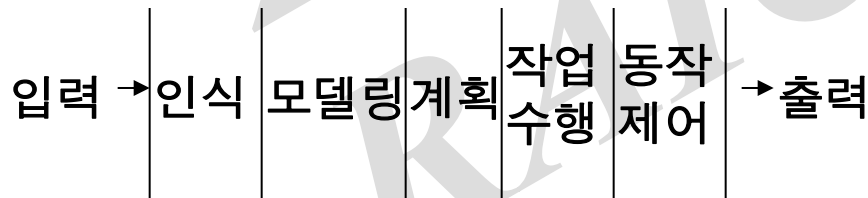


무리를 지어 장애물을 피하는 모습

Cont.(Subsumption Architecture)

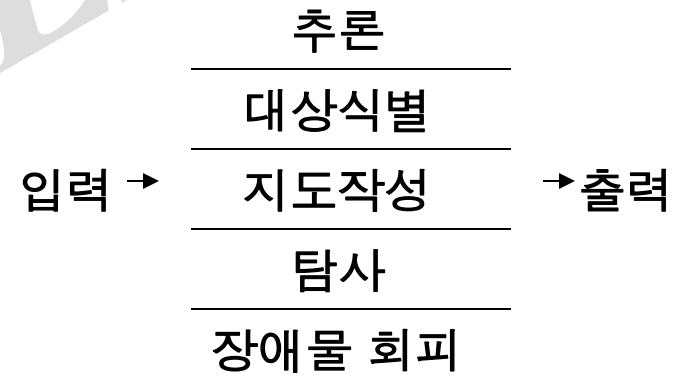
- 주변 환경(세계)에 대한 정확한 모델링이 필요치 않음
- 각각의 행동들은 분산적이고 병렬적으로, 또한 서로 비동기적으로 일어남
- 복잡하고 변화하는 환경에 대하여 빠르게 실시간으로 대처할 수 있음
- 낮은 수준의 행동들은 실시간 대처를, 보다 높은 행동들은 목표 달성을 할 수 있게 하는 상향식(bottom-up) 구조

기존의 인공지능 방법



정보처리의 병목현상 발생

포섭구조(SA)



정보처리의 병목현상 발생 안함
곤충과 같이 환경세계에 즉각 반응

응용(Application)

인공생명 두뇌(A-life Brain)

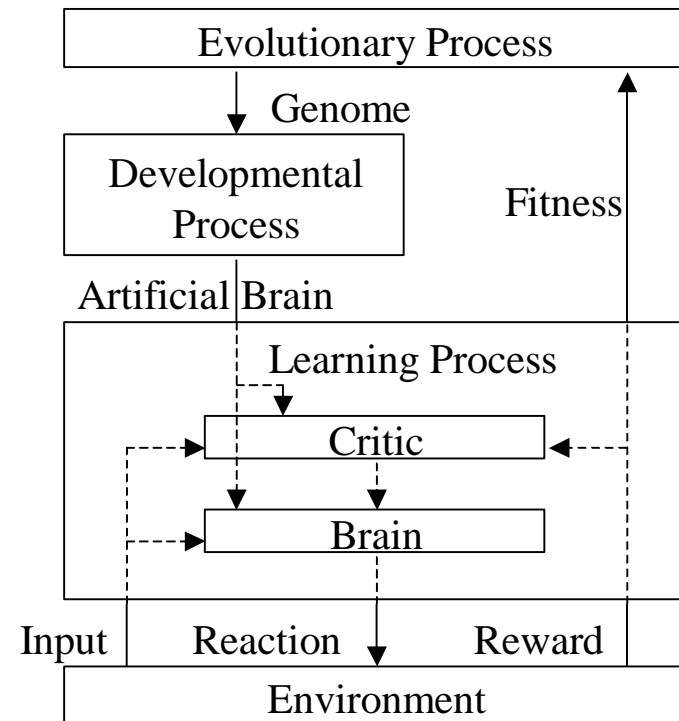
생물학적인 구조 뿐만 아니라 생성과정 등을 폭 넓게 활용하여 연구 됨

자연계의 3가지 자기조직화 현상

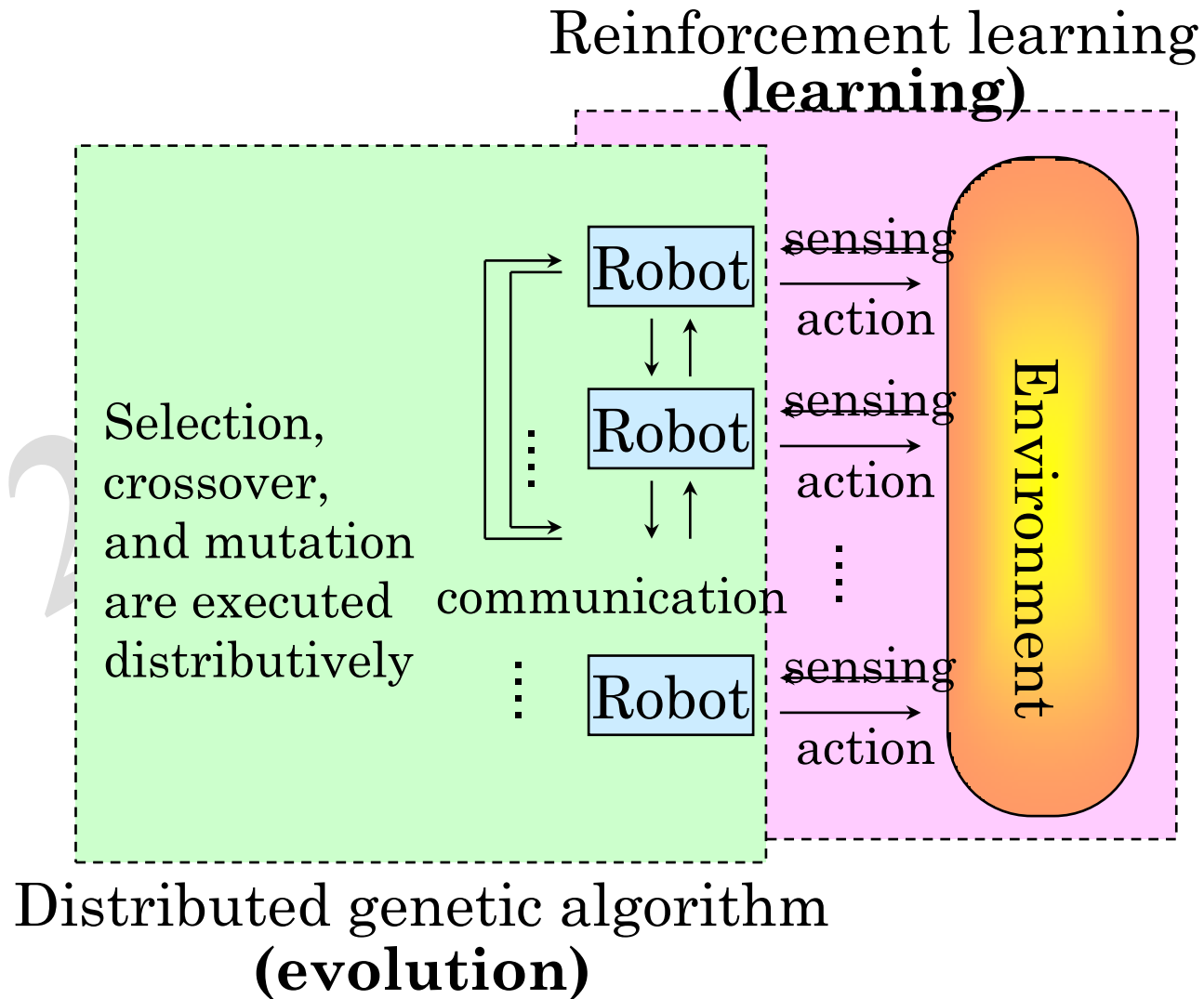
발생(development)

학습(learning)

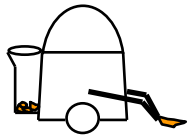
진화(evolution)



AMR의 협조 행동



Cont.



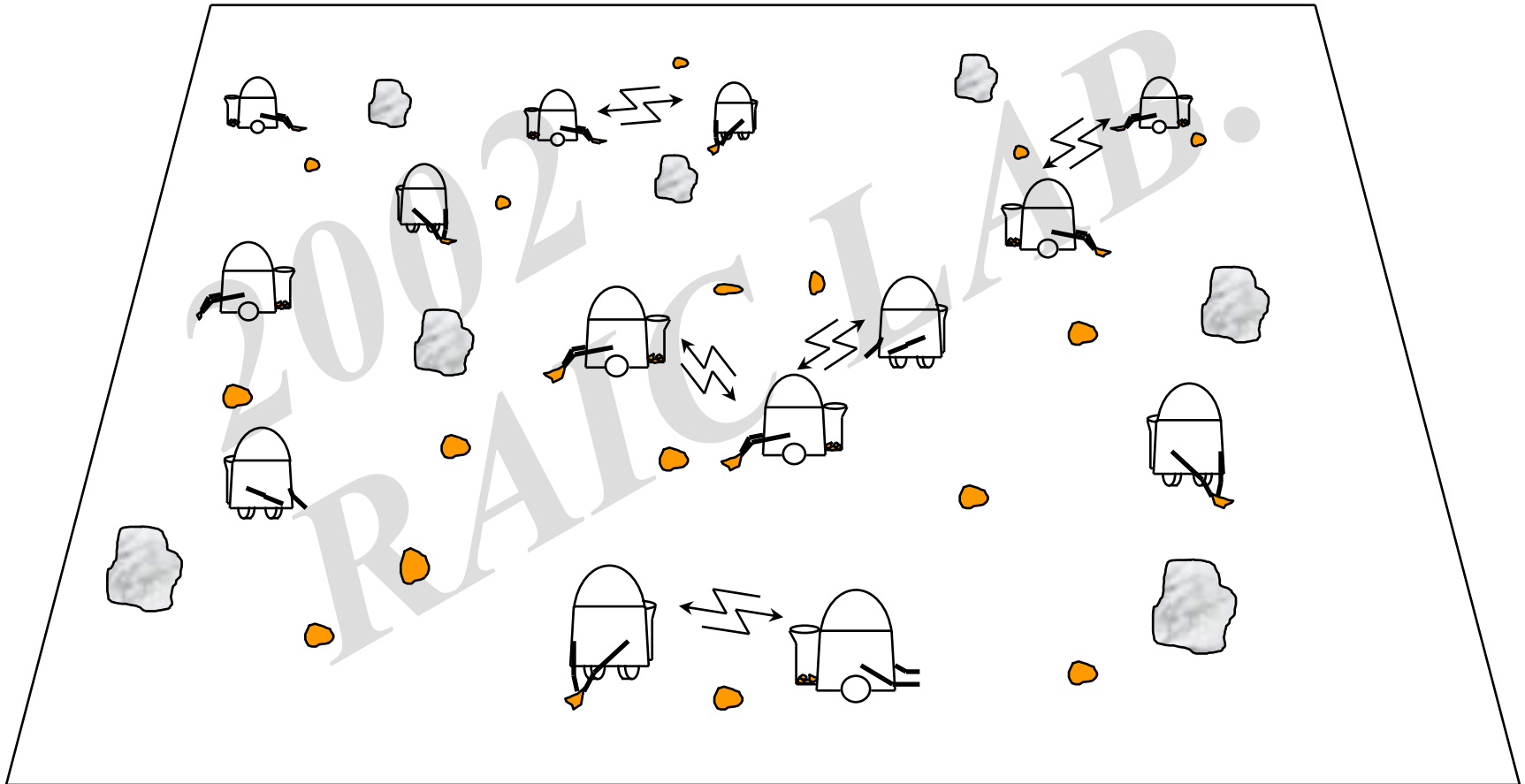
: Autonomous
Mobile Robots



: Obstacle



: Object



Biological DNA

4 염기 : Adenine(A) Thymine(T) Guanine(G) Cytosine(C)

코돈(codon) : 3개의염기로 구성된 기본 의미 단위로 하나의 아미노산을 코드화

	U		C		A		G		
U	UUU	Phenylalanine	UCU	Serine	UAU	Tyrosine	UGU	Cysteine	U
	UUC		UCC		UAC		UGC		C
	UUA	Leucine	UCA		UAA	STOP	UGA	STOP	A
	UUG		UCG		UAG		UGG	Trptophan	G
C	CUU		CCU	Proline	CAU	Histidine	CGU	Arginine	U
	CUC		CCC		CAC		CGC		C
	CUA		CCA		CAA	Glutamine	CGA		A
	CUG		CCG		CAG		CGG		G
A	AUU	Isoleucine	ACU	Threonine	AAU	Asparagine	AGU	Serine	U
	AUC		ACC		AAC		AGC		C
	AUA		ACA		AAA	Lysine	AGA	Arginine	A
	AUG	Methionine	ACG		AAG		AGG		G
G	GUU	Valine	GCU	Alanine	GAU	Aspartic acid	GGU	Glycine	U
	GUC		GCC		GAC		GGC		C
	GUA		GCA		GAA	Glutamic acid	GGA		A
	GUG		GCG		GAG		GGG		G

DNA Coding

DNA 코딩

- 염색체의 구조 : 4개의 염기(**A,T,G,C**)를 기본으로 하는 일종의 4진 스트링
- 해석단위 : 3개의 염기 단위로 해석(코돈)
- 번역의 단위 : 시작코돈(일반적으로 **ATG**)이 나오면 번역을 시작하며 번역이 끝나거나 종료 코돈이 나오면 번역을 종료

생물학적 DNA와 DNA 코딩의 비교

	생물학적 DNA	DNA 코딩
코돈	아미노산을 암호화하는 최소단위	규칙의 최소 의미단위
시작코돈	번역의 시작점	번역의 시작점
종료코돈	번역의 종료점	번역의 시작점
번역 결과물	단백질, 효소	규칙

DNA 코딩의 특징

- 염색체의 길이가 가변적이다.
- 교차점이 강제적으로 주어지지 않는다.
- 코딩에 여분과 중복이 있다.
- 지식의 융통성 있는 표현(규칙)이 가능하다.

DNA 코딩의 적용 순서

- ① 규칙의 표현방법 및 구성요소를 결정
- ② DNA 코돈(아미노산)에 대응되는 규칙의 구성요소 테이블을 작성
- ③ 번역하는 방법을 결정
- ④ 진화알고리즘을 이용하여 진화

L-System 기반 신경회로망

신경회로망의 노드 구성

name of node	C/R	bias	weight
--------------	-----	------	--------

of codon : 1 1 1 4

- **C/R** : **connecting range**, 다른 노드와 연결되는 범위를 나타냄
- **bias & weight**(연결강도)

$$w = \frac{(B_0 \times 4^2 + B_1 \times 4^1 + B_2 \times 4^0) - 32}{10}$$

단, B_0, B_1, B_2 는 한 코돈 내의 염기로서 **A, T, G, C** 중 한 염기를 나타내며 각각 **0, 1, 2, 3**의 값을 갖는 정수이다. 또한 이 식에서 $-3.2 \leq w \leq 3.1$ 이 된다.

Cont.

코돈(아미노산)의 해석표

Amino Acid	Node's Name	Connection Range
Leu	A	1,1
Arg	B	2,2
Ser	C	3,3
Thr	D	1,2
Ala	A	1,3
Gly	B	1,4
Val	C	2,3
Pro	D	2,4
Stop		
Ile	A	3,4
Tyr	B	4,4
Gln	C	1,1
Phe	D	2,2
Asp	,	3,3
Cys	,	1,2
Asn	,	1,3
Glu	,	1,4
His	,	2,3
Lys	,	2,4
Trp	C	3,4
Met	D	4,4

Cont.

DNA의 해석

CG ATG CGG CGT *GAA TGC CGG GGT* CCA TAC CTC *GGG ACA*

Rule1 →

Translate process {

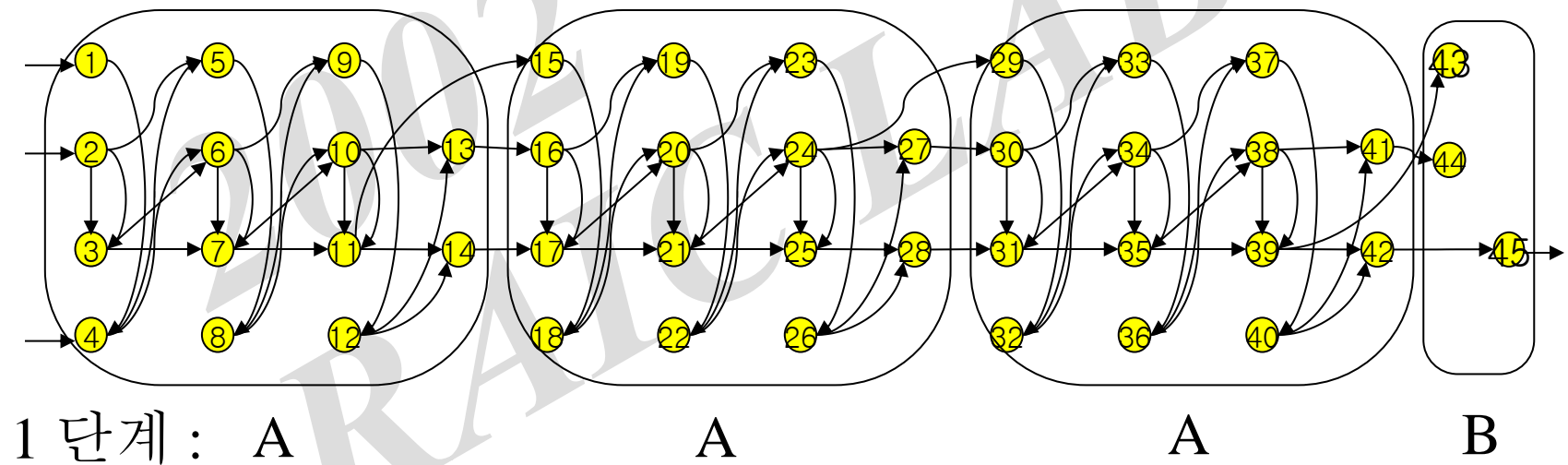
<i>Arg</i>	<i>Arg</i>	Glu	Cys	Arg	Gly	Pro	<i>Tyr</i>	<i>Leu</i>	Gly			
Name	C/R	(Bias	w1	w2	w3	w4)	Name	C/R	(Bias	w1
B	(2,2)	(-1.6,	0.5,	2.1,	-1.0,	2.8)	B	(1,1)	(-0.9,	
Node 1							Node 2						
Rule 1: B →B(1,1).....													

Rule2 →

Pro	Gly
D	(1,4)
Rule 2 : D →		

Cont.

L-System 기반 신경회로망의 예



Conclusion

인공생명 관련 Web Site

- 인공생명 연구회 : <http://rics.cie.cau.ac.kr/>
- Alife Online : <http://alife.org/>
- Complex Systems Virtual Library :
http://life.csu.edu.au/vl_complex/0ArtificialLife.html
- Artificial Life Researches in Japan :
<http://www.intlab.soka.ac.jp/ArtificialLife/>
- Complex Adaptive Systems and Artificial Life (Moshe Sipper)
http://islwww.epfl.ch/~moshes/alife_links.html
- The Live Alife Page : <http://alife.fusebox.com/>
- Reinforcement Learning : <http://envy.cs.umass.edu/>
- Ronald Arkin's Homepage(Reactive and Homeostatic Control) :
<http://www.cc.gatech.edu/aimosaic/faculty/arkin.html>